



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión Sistemática de las técnicas biológicas in situ para la
remediación de suelos contaminados por metales pesados:
Biochar y Fitorremediación**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES:

Bravo Camac, Daniel (ORCID: 0000-0002-4192-7561)

Olivera Kalafatovich, Juana Guianella (ORCID: 0000-0002-2177-7199)

ASESOR:

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (ORCID: 0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA - PERÚ

2020

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado primeramente a Dios por concedernos vida y salud, ya que sin ello no podríamos cumplir nuestros objetivos. A nuestros padres y hermanos por inculcarnos valores y estar presente en el transcurso de este largo camino, apoyándonos, motivándonos a no darnos por vencidos. A nuestros profesores quienes se han tomado la ardua labor de transferir sus conocimientos y los consejos dados en su respectivo momento.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia. Gracias a nuestros padres por ser los primordiales promotores de nuestros sueños, por creer en nuestras expectativas y proyectos, por las sugerencias, valores y principios que nos han plasmado. Gracias a la Universidad Cesar Vallejo por habernos abierto las puertas en su seno científico para poder estudiar la carrera de Ingeniería Ambiental, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo en el día a día. Agradecemos a nuestro asesor de tesis Doctor Fernando Antonio Sernaque Aucahuasi, por habernos tenido la paciencia para guiarnos durante todo el desarrollo de la tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III.METODOLOGÍA	12
3.1. Tipo y diseño de investigación	12
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística	13
3.3. Escenario de estudio	13
3.4. Participantes	14
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	14
3.6. Procedimientos	15
3.7. Rigor científico	18
3.8. Método de análisis de información	19
3.9. Aspectos éticos.....	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
V. CONCLUSIONES	37
VI. RECOMENDACIONES.....	38
REFERENCIAS.....	39
ANEXO	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Matriz de categorización apriorística	13
Tabla N° 2: Tabla de información de los artículos seleccionados	21
Tabla N° 3: Tratamiento de metales pesados	25
Tabla N° 4: Especies de plantas, metal tratado y mecanismos de la fitorremediación	27
Tabla N° 5: Influencia de la temperatura en el ph y superficie del biochar	29
Tabla N° 6: Influencia de la materia prima y temperatura en el contenido de minerales del biochar	30
Tabla N° 7: Costos del Biochar y Fitorremediación.....	32
Tabla N° 8: Impactos de la Biochar y Fitorremediación	34

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objeto comparar sistemáticamente las alternativas de biochar y fitorremediación para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados, con el propósito de señalar de qué manera es que el biochar y la fitorremediación reducen los metales pesados en los suelos contaminados, determinar los costos de aplicación del biochar y la fitorremediación para el tratamiento de suelos contaminados por metales pesados e identificar los impactos en los suelos que se genera por la aplicación del biochar y la fitorremediación.

La metodología utilizada se basó en el uso de datos y hallazgos recolectados dentro de la temática de biochar y fitorremediación, para que en función a ello se realice un análisis y se dé respuesta a las cuestiones identificadas, tomando como fuente de información artículos provenientes de plataformas de búsqueda multidisciplinarias, las cuales cuentan con reconocimiento científico-académico a nivel mundial y están contempladas dentro de los recursos digitales de la Universidad César Vallejo.

Los resultados mostraron que las interacciones producidas entre el biochar y el metal pesado en un suelo contaminado están dadas por diferentes mecanismos tales como: atracción electrostática, intercambio iónico, complejación superficial y precipitación, los cuales están determinados según la fuente de materia prima, las diversas condiciones de pirolisis en la producción del biochar y las propiedades del suelo; mientras que el tratamiento de fitorremediación presenta mecanismos de interacción con el metal pesado tales como: fitoextracción, fitoestabilización y fitoevaporación, los cuales están determinados según la especie utilizada para la remediación.

Palabras clave: biochar, fitorremediación, suelos contaminados, metales pesados

ABSTRACT

The present research work aims to systematically compare the alternatives of biochar and phytoremediation for the treatment of soils contaminated with heavy metals, in order to indicate how it is that biochar and phytoremediation reduce heavy metals in soils. contaminated, determine the costs of applying biochar and phytoremediation for the treatment of soils contaminated by heavy metals and identify the impacts on soils that are generated by the application of biochar and phytoremediation.

The methodology used was based on the use of data and findings collected within the thematic of biochar and phytoremediation, so that based on this an analysis is carried out and answers are given to the issues identified, taking as a source of information articles from platforms multidisciplinary search engines, which have scientific-academic recognition worldwide and are included in the digital resources of the César Vallejo University.

The results show that the interactions produced between biochar and heavy metal in a contaminated soil are given by different mechanisms such as: electrostatic attraction, ion exchange, surface complexation and precipitation, which are determined according to the source of raw material, the various pyrolysis conditions in biochar production and soil properties; while the phytoremediation treatment presents interaction mechanisms with heavy metal such as: phytoextraction, phytostabilization and phytoevaporation, which are determined according to the species used for the remediation.

Keywords: biochar, phytoremediation, contaminated soils, heavy metals

I. INTRODUCCIÓN

Desde hace muchos años las actividades antropogénicas han representado la mayor contaminación y sobreexplotación de los recursos naturales, entre ellos se tiene: el uso indiscriminado de fertilizantes y pesticidas, inadecuado tratamiento de efluentes de las industrias y minerías, así como la inadecuada disposición de los desechos orgánicos, siendo estas actividades consideradas las fuentes más relevantes de metales pesados en suelos y agua. Estos contaminantes presentan la característica de ser persistentes y no ser biodegradables en el suelo por un extenso periodo, incluso dependiendo de su concentración y las propiedades características del metal, pueden ser tóxicos (Álvarez, 2019, p. 2).

Es así que los impactos negativos que puede generar los metales pesados en el suelo están relacionado en mayor parte con la alteración de la actividad microbiana, aunque se tengan escasas referencias hay estudios que demuestran, a través de la medición de parámetros como desprendimiento de CO₂, cociente metabólico, ATP y carbono de biomasa, que los metales Cd y Ni son los que más impactos generan en la actividad microbiana, que si bien es cierto la afectación no se da directamente en la vida del suelo pero las plantas que crecen en ellas sufren inhibición en su crecimiento y absorben estos metales, que luego por la ingesta directa o indirectamente por el humano va generando complicaciones en la salud (García, 2002, p. 9).

Esta contaminación de suelos por metales pesados es un problema mundial que en los últimos tres años se ha incrementado radicalmente, causando alteraciones en el medio ambiente y daños en la población que consume los alimentos producidos en ellos. Cabe mencionar que la mayor afectación de los suelos se da por la inadecuada gestión del sector minero con respecto a sus residuos, las mineras ilegales, el crecimiento y desarrollo del sector industrial y la priorización del factor económico sobre el ambiental, siendo estos suelos muchas veces utilizados para la agricultura (Liu, 2018, p. 2).

En lo que concierne a los suelos urbanos, es preciso señalar que las sub actividades que aportan niveles elevados de metales y metaloides en ellos son: el acabado de estructuras con pinturas a base de plomo, circulación de vehículos, utilización de fertilizantes y pesticidas en áreas verdes (Nezat, 2016, p. 3), generando de esta manera una afectación en la calidad de los suelos, y riesgo en la salud de las personas.

Motivo de que existen más de 20 millones de hectáreas de suelos contaminados por metales pesados, surgen técnicas de remediación in situ como: la encapsulación, lavado de suelos, vitrificación, biorremediación, fitorremediación, etc. estas técnicas de remediación implica cuatro procesos definidos, la contención, extracción, remoción e inmovilización de los contaminantes valiéndose de recursos físicos, químicos, biológicos, eléctricos y térmicos. La remediación ex situ es menos rentable que la in situ, igualmente la fitorremediación necesita ciertas mejoras en la eficiencia, pero abarca grandes espacios de suelos contaminados (Liu, 2018, p. 3), básicamente estos métodos son físicos, químicos, biológicos o de manera combinada, los cuales presentan cierta eficiencia en la reducción y limpieza de suelos contaminados con elementos metálicos (Khalid, 2017, p. 2), siendo los materiales orgánicos la alternativa más popular debido a que proceden de la materia biológica y a menudo demandan poco pretratamiento antes de que puedan aplicarse directamente a los suelos, de ello son las enmiendas ricas en carbono, como los biochars, los que se han utilizado para la tratamiento de suelos y sedimentos debido a su capacidad para reducir la biodisponibilidad de contaminantes (Beesley et al., 2011, p.1); sin embargo, es preciso señalar que la fitorremediación representa una alternativa novedosa que ha atraído una atención tremenda respecto a la investigación sobre el tratamiento de suelos contaminados con diferentes metales, debido a su excelente capacidad para almacenar, como es el caso de plantas hiperacumuladoras que pueden almacenar metales pesados más de cien veces que una planta estándar, lo que demuestra una excelente capacidad para eliminar Co, Pd, Cu, Zn, Ni, Au, entre otros metales de los suelos (Liu, 2020, p.1).

En otros términos, existen muchas investigaciones relacionadas al desarrollo de tecnologías de remediación efectiva como el tratamiento térmico, lavado de suelos y fitorremediación (He, 2019, p.1), entre ellas las que más se ha estado utilizando en la reducción de metales pesados son la fitorremediación y aquellos que contienen sólidos carbonosos (biochar), cada uno de ellos presenta antecedentes de su efectividad en tratamiento de suelos contaminados; sin embargo, no existen estudios que analicen de manera profunda y comparativa estas dos tecnologías; así mismo no se cuenta con investigaciones previas que detallen, de manera sistemática, como es que se da la disminución de metales pesados en suelos mediante el biochar y la fitorremediación; si bien las investigaciones refieren que el biochar y fitorremediación son tecnologías que tienen buen resultado y son rentables para la remediación de metales pesados, pero no ahondan en los costos monetarios que se debe asumir al utilizar estas tecnológicas de remediación, así como cuáles son los efectos y/o impactos que genera en los suelos, microorganismos y salud la aplicación del biochar y la fitorremediación.

Ante todo lo expuesto, surge la siguiente cuestión ¿Qué diferencias hay entre el biochar y la fitorremediación para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados? a través del cual se desprenden preguntas específicas como ¿De qué manera el biochar y la fitorremediación tratan los metales pesados en los suelos contaminados?, ¿Cuáles son los costos de utilizar el biochar y la fitorremediación para el tratamiento de suelos contaminados por metales pesados? y ¿Qué impactos genera en los suelos, microorganismos y salud la aplicación del biochar y la fitorremediación?.

El objetivo general del presente trabajo de investigación es comparar sistemáticamente las alternativas de biochar y fitorremediación para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados, señalar de qué manera es que el biochar y la fitorremediación reduce los metales pesados en los suelos contaminados, determinar los costos de utilizar el biochar y la fitorremediación para el tratamiento de suelos contaminados por metales pesados y por último identificar los impactos que genera el uso de biochar y

fitorremediación sobre los suelos, microorganismos y la salud en el tratamiento de metales pesados.

El propósito de la presente investigación es realizar una revisión sistemática sobre los aspectos más relevantes del tratamientos con biochar y fitorremediación para la remediación de suelos contaminados por metales pesados, el mismo que permite determinar cuál de estas alternativas es técnica y económicamente mejor para la reducción de metales pesados según las características del suelo a tratar; asimismo se contará con información de cómo funciona el mecanismo de reducción de metales pesados utilizando el biochar y la fitorremediación, los costos de utilizar estos tratamientos y los impactos que genera su uso, siendo los beneficiarios aquellos investigadores que buscan información concisa y objetiva sobre las características de estas dos tecnologías, a fin de elegir aquella que resulte más eficiente sobre el suelo a descontaminar. (He 2019, p. 1).

II. MARCO TEÓRICO

Se revisaron trabajos previos de autores que realizaron el tratamiento de suelos contaminados por metales pesados mediante el uso de ecotecnologías como el biochar o fitorremediación, a fin de tener un mayor panorama sobre la efectividad de estos métodos y los alcances que tienen sobre el suelo contaminado. Al respecto, los siguientes investigadores obtuvieron lo siguiente:

Wang y Wang (2019), a través de un análisis y sistematización de más de 200 documentos enfocados en la preparación, modificación, características y usos ambientales que ofrece el biochar, resuelve que la utilización de materia prima como desechos orgánicos, residuos agrícolas y lodos de alcantarillado municipal va depender de la aplicación ambiental que se quiere dar, toda vez que todo tipo de biochar presenta diferente característica oxidante, de acidez, vapor y contenido de carbono

Es así que, Wang, Zhu, Cheng, Anderson, Zhao, Wang y Ding (2017) en su investigación, mediante una revisión bibliográfica de diferentes documentos relacionados al biochar, logran determinar que los grupos funcionales del biochar son más numerosos y diversos que el carbón activado, a pesar de tener un área superficial menor, asimismo el manejo de contaminantes en suelos a través del biochar no solo depende de la concentración de contaminantes y movilidad, sino también del fraccionamiento y la biodisponibilidad.

Asimismo He (2019), a través de un metaanálisis sobre los efectos del biochar en la remediación de metales pesados, resuelve que la textura del biochar juega un papel importante en el rendimientos de los cultivos, siendo más beneficioso los suelos de textura pesada que en lugar de los de textura ligera y media, así como también que el mecanismo de remediación de metales pesados implica adsorción electrostática, interacciones indirectas, intercambio iónico y precipitación; sin embargo encuentra que las macropartículas de biochar pueden migrar a niveles más profundos, transportando así los contaminantes a las aguas subterráneas .

Complementando ello, Wang, Ji, Hu, Liu y Sun (2017), realizaron una revisión sobre la fitorremediación en relaves mineros, obteniendo que las características físico químicas de los relaves mineros como son las altas concentraciones de metales pesados, elevado pH, alta salinidad, bajo contenido de materia orgánica del suelo y su baja capacidad para retener el agua pueden intervenir en el desarrollo y crecimiento de las plantas, por lo que, la fitorremediación, una técnica que se utiliza en el lugar contaminado, surge como un método rentable y eficiente para la remediación de los suelos, se incorporan plantas que son resistentes a los metales y que tienen capacidad absorbente.

Biam (2013) en su investigación, utiliza biochar de paja de trigo, el cual contenía 467 gr de carbono orgánico, 5.9 gr de N, 0.03 gr de Cd, 28% de cenizas y 8.92 m² de superficie, así como fertilizantes totales de N, P y K en 5 parcelas de producción de arroz que habían sido contaminados con Cd en una provincia de China, dando como resultado la no afectación en el rendimiento del grano de arroz, sin embargo las concentraciones de Cd se redujeron significativamente de manera constante en todas las parcelas.

Asimismo, Hee (2013) tras una comparación de la inmovilización de Pb y Cd con aplicación diferenciada de biochar de estiércol de pollo (CM), biochar de residuos orgánicos urbanos (GW), biochar de planta de marihuana (BC) y carbón activado comercial (AC), mediante una dosis de 5 %ppm a condiciones de 60% de humedad y 25 °C de temperatura durante 14 días sobre un suelo de Australia del Sur inducido con Pb y Cd a 1,000 y 5 mg / kg de concentración, obteniendo de esa manera que el biochar CM presento mayor capacidad de adsorción tanto de Pb como de Cd, siendo más eficiente para Pb, ello se explica por la mayor presencia de grupos funcionales de superficie como como hidroxilo, carbonilo y carboxilo.

Por otro lado, Sarwar (2017), tras una revisión de las limitaciones, usos y comparaciones entre la aplicación de la fitorremediación, resuelve que, si bien las plantas hiperacumuladoras pueden utilizarse de manera eficiente para extraer grandes concentraciones de contaminantes metálicos, su implementación es menos rentable cuando se trata de grandes extensiones,

toda vez que las hiperacumuladoras naturales son generalmente de lento crecimiento dando una baja producción de biomasa.

Para comprender el enfoque de la presente investigación, es necesario ahondar en conceptos y teorías que refuercen el cómo los metales pesados impactan en el suelo, en qué consisten las tecnologías de remediación con biochar y fitorremediación, así como cuáles son sus características.

Como punto de inicio es relevante señalar que, el impacto negativo generado por los metales pesados en el suelo está relacionado en mayor parte con la alteración de la actividad microbiana, aunque se tengan escasas referencias hay estudios que demuestran, a través de la medición de parámetros como desprendimiento de CO₂, cociente metabólico, ATP y carbono de biomasa, que los metales Cd y Ni son los que más impactos generan en la actividad microbiana, que si bien es cierto la afectación no se da directamente en la vida del suelo pero las plantas que crecen en ellas sufren inhibición en su crecimiento y absorben estos metales, que luego por la ingesta directa o indirectamente por el humano va generando complicaciones en la salud.(García, 2002, p. 9).

Como una alternativa de remediación se tiene el biochar, que es un sólido obtenido a partir del proceso de pirólisis o conversión termoquímica a condiciones de escaso oxígeno y temperaturas que varían entre 200 a 700 °C, la materia prima utilizada para el proceso es el estiércol de animal, biomasa o residuos orgánicos; siendo definido la calidad del biochar en función al tipo de material utilizado (IBI, 2012, p. 2).

Igualmente, Gómez et al. (2017) le da un concepto al biocarbón como un producto de la pirólisis de la biomasa, el cual se caracteriza por retener carbono, residuos orgánicos e inorgánicos que se encuentran en el suelo. (p. 39).

Una de las materias primas que se viene empleando para la elaboración de biochar es paja de caña de azúcar, el cual con una pirólisis a 700 °C, se ha demostrado una eficiente absorción de Cd, Pb y Zn en suelos contaminados por la minería (Puga, 2015, p. 86). Asimismo, el biochar de biomasa de

madera a una temperatura de 500 °C y a pirólisis lenta, el cual resulta en un compuesto alcalino reduce de modo significativo las concentraciones de Pb, Zn y Cd en suelos contaminadas de característica ácida (Lomaglio, 2017, p. 11).

Este producto presenta un alto contenido de carbono, porosidad, área superficial alta específica, los cuales permiten efectividad para el intercambio catiónico, conductividad eléctrica, estabilidad, inercia, inmovilización de contaminantes y mejor disponibilidad de carbono, nitrógeno y fósforo. (Kamali, 2020, p.2-3). Al respecto, existen estudios que demuestran que la inserción de biochar en el suelo modifica su capacidad de retención de agua, el cual es debido su alta porosidad, superficie específica y dominios hidrofóbicos, sin embargo, existen otros que demuestran lo contrario después de su aplicación en el suelo, por lo que se puede suponer que se cuenta con demostraciones diferidas debido a que existen características propias en cada tipo de biochar y suelo. (Razzaghi, 2019, p.2)

Además, el biochar por ser resultado de un proceso en altas temperaturas y con oxígeno limitado, presenta una alta capacidad de intercambio catiónico, y una rápida absorción de contaminantes orgánicos e inorgánicos, disminuyendo la movilidad de estos elementos que alteran la composición física y química en el suelo; asimismo, la combinación de compost, estiércol y diferentes enmiendas de biochar podrían ser beneficiosos para suelos que requieran revegetación. Beesley et al. (2011, p. 2).

Según Cha et al. (2016) el biochar tiene una característica importante para retener contaminantes, se conoce como capacidad de absorción, y está relacionada con la estructura porosa, grupos funcionales superficiales y el alto contenido mineral que posee. (p.7).

Existen muchos usos para aprovechar el biocarbón, dentro de ellos la remediación de suelos contaminados, por ello, Masaguer et al. (2015) nos indica que aparte del uso como combustible, recientes estudios han intensificado la utilidad del biochar (principalmente de pirólisis) en suelos agrícolas, enfocándose en la mejora de las propiedades del suelo, la

retención de nutrientes y agua con el fin de secuestrar carbono para la disminución de gases de efecto invernadero. (p. 225).

Complementando ello, Almeida (2017) afirma que recientemente al biochar se le destaca por ser multifuncional debido a los diversos usos como la fertilización y modificación del pH en suelos para la agricultura, la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos y la inmovilización de enzimas. (p. 3).

Una serie de estudios demuestran la efectividad del biochar para el problema de acumulación de metales pesados en los suelos, teniendo resultados prometedores en la retención de estos elementos perjudiciales para el recurso suelo y agua, a causa de ello, es una buena alternativa para la problemática que representan los suelos contaminados con metales pesados.

En otras palabras, el biocarbón resulta ser una técnica de remediación atractiva para la retención de metales pesados, esta capacidad del biochar de absorción se debe a la composición y características que posee, y por el tipo de biomasa o materia prima que se utiliza.

Por otro lado, la fitorremediación es una tecnología que utiliza especies vegetales para la extracción de metales pesados en suelos que han sido contaminados, ello consiste en su acumulación por medio de las raíces, tallos y ramas, lo cual varía dependiendo las características fisiológicas, anatómicas y morfológicas de la especie (Lombie, 2001, p.2), siendo considerado una tecnología verde, porque no daña el ecosistema, y es eficiente para remediar una variedad de contaminantes ambientales. Este tipo de plantas absorben los metales pesados de la rizósfera del siguiente modo: Inmovilización de estos elementos y su posterior absorción por las raíces de las plantas, estos metales pesados que se acumulan se trasladan desde la raíz hasta los tejidos aéreos, seguido por la retención de estos elementos contaminantes en el tejido vegetal, siendo probado su efectividad de purgar contaminantes metálicos desde 1970 (Liu et al., 2018, p. 212).

Su costo es relativamente bajo a comparación con otras tecnologías fisicoquímicas, ya que utiliza energía solar para el crecimiento de la planta, requiere bajo mantenimiento y puede reducir la erosión, así como la lixiviación de metales en los suelos contaminados (Emenike, 2018, p. 6).

Para (Yadav et al., 2018, p. 275-276) la técnica de fitorremediación se subdivide en diferentes clases, según su aplicación, las cuales son:

a) Fitoextracción

Se usa las raíces de plantas para absorber contaminantes del suelo para luego realizar una translocación de los contaminantes hacia las partes aéreas de la planta donde se realiza la eliminación segura de estos elementos que representan un daño para el suelo.

b) Fitovolatilización

Las plantas absorben los contaminantes del suelo y convierten los contaminantes tóxicos en vapores menos tóxicos para la atmósfera a través del proceso de transpiración de la planta.

c) Fitofiltración

Se usa la biomasa vegetal para filtrar los contaminantes de sistemas de agua.

d) Fitoestabilización

Es el proceso que emplea plantas para estabilizar los contaminantes del suelo reduciendo la movilidad y biodisponibilidad, de manera que evita la migración en los entornos cercanos y en los productos alimenticios. (Khalid et al., 2017, p.255)

e) Fitodegradación

Las plantas absorben y metabolizan los compuestos orgánicos, los cuales se degradan con ayuda de enzimas.

f) Rizodegradación

Se usan las raíces para absorber, purificar y disminuir las concentraciones de metales pesados (Mahar et al., 2016, p.118).

La fitorremediación es una tecnología de remediación prometedora que tiene varios usos en el campo medioambiental, contribuyendo en la mejora del suelo y agua contaminados con metales pesados, siendo la

Fitoestabilización, la Fitoextracción y la Fitovolatilización alternativas efectivas en el tratamiento de suelos contaminados (Ding et al., 2018, p.384). Su aplicación está enfocada para contaminantes orgánicos tales como: Hidrocarburos Aromáticos, Hidrocarburos Totales de Petróleo, Bifenilos Policlorados, Oleoductos de Crudos Pesados, ésteres de ácido ftálico, etc. (Feng et al., 2017, p.4), siendo esta tecnología no sólo es respetuosa, segura y menos destructiva con el medio ambiente, sino rentable cuando se compara con otros tratamientos como la remediación física o química que resultan ser costoso. (Tang et al., 2016, p.14).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación aplicada viene a ser aquella que busca conocimientos y teorías relacionadas a un tema específico para que a través de técnicas y métodos recopilados se aplique en una cierta realidad en beneficio de nuevos conocimientos (Munarriz, 1992, p. 104), uno de los enfoques de este tipo de investigación es el cualitativo, el cual se basa en el uso de datos cualitativos como detalles de hechos y citas directas de investigaciones articuladas dentro de un contexto, para en función a ello construir conocimientos de una realidad determinada (Navarre, 2004, p.2).

Asimismo, una investigación que corresponde a un diseño narrativo se caracteriza por la recolección de datos y hallazgos, los cuales el investigador irá analizándolos y describiéndolos de manera narrativa, a fin de entender los fenómenos o procesos de interés (Quecedo, 2002, p. 2), siendo uno de ellos los narrativos de tópicos, toda vez que recolecta datos exclusivamente relacionados a la temática de la investigación para dar respuesta a las cuestiones identificadas por el investigador. (Salgado, 2007, p. 3).

La presente investigación cumple con todos estos conceptos, ya que busca información teórica y empírica relacionada a la temática de biochar y fitorremediación, así como los conocimientos sobre los resultados de la aplicación de estos en suelos contaminados por metales pesados, esta información fue analizada y descrita de manera narrativa.

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

Tabla N° 1: Matriz de categorización apriorística

Objetivos Específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Señalar de qué manera es que el biochar y la fitorremediación tratan los metales pesados en los suelos contaminados.	Tratamiento de metales pesados	Biochars	De acuerdo al mecanismo de interacción (He, 2019, p.2-4) (Oliveira, 2017, p. 25)	De acuerdo al tipo de metal pesado (He, 2019, p.2-4).	De acuerdo a los factores que afectan el tratamiento (Wang et al., 2020, p. 3).
		Fitorremediación			
Determinar los costos de utilizar el biochar y la fitorremediación para el tratamiento de suelos contaminados por metales pesados	Costos	Biochars	De acuerdo a la extensión del terreno (Wang, 2018, p. 12) (Jaskulak, Grobelak, Vandenbulcke, 2020, p.11).	De acuerdo a la concentración de metales pesados (Bianco, 2020, p. 5) (Mahar, Wang, et.al., 2016, p.7)	De acuerdo al rendimiento de tratamiento (Bianco, 2020, p. 5) (Wan, Lei y Chen, 2015, p. 2)
		Fitorremediación			
Identificar los impactos que puedan generar el uso de biochar y fitorremediación sobre los suelos, microorganismos y la salud para el tratamiento de metales pesados.	Impactos	Biochars	De acuerdo a los impactos en la actividad microbiana. (Zhu, 2017, p. 2) (Vijayalakshmi, et al., 2018, p. 5)	De acuerdo a los impactos en la salud (He,2019, p.4-5) (Ramamurthy y Memarian, 2012, p.9)	De acuerdo a los impactos en las propiedades del suelo (He,2019, p.5) (Razzaghia, 2020, p. 7).
		Fitorremediación			

Fuente: Elaboración propia

3.3. Escenario de estudio

La contaminación de los suelos por influencia directa de las actividades económicas que realiza el hombre tiene muchos escenarios posibles, ya que la contaminación no solo se da en el suelo, sino en el agua e incluso en el aire. Sin embargo, el presente trabajo de investigación se enfocó en un escenario, siendo este el suelo contaminado con metales pesados. Las actividades antropogénicas, como las mineras, las industrias y la agricultura

(uso de insecticidas y pesticidas) contaminan el suelo, y dependiendo donde se realicen dichas actividades generan un impacto en el suelo agrícola, rural y urbano, ocasionando una alteración en las características físico-químicas del suelo, por lo que resulta perjudicial para el medio ambiente y el ecosistema mismo. Incluso es tóxico para el ser humano que consume los productos de la tierra y que muchas veces construyen sus viviendas cerca de la contaminación y se exponen a estos elementos que llegan a ser mortales.

De lo anterior mencionado, Olmo (2016) menciona que el uso del biochar resulta provechoso para remediar suelos contaminados, esto se debe a su capacidad para absorber contaminantes como pesticidas, herbicidas y metales pesados (p.39).

Así mismo, para Gabarrón (2017) los escenarios donde se puede aplicar estas técnicas de remediación son las siguientes: suelos urbanos, suelos industriales, suelos mineros y suelos agrícolas. Todos estos escenarios tienen en común la contaminación por diferentes factores, sin embargo, el de interés es la contaminación de estos suelos por metales pesados. (p. 17 - 18).

3.4. Participantes

Para la siguiente investigación se consideró como fuente de información artículos provenientes de plataformas de búsqueda multidisciplinarias, las cuales cuentan con reconocimiento científico-académico a nivel mundial y están contempladas dentro de los recursos digitales de la Universidad César Vallejo, siendo los siguientes: Science Direct, Proquest, Springer, Scopus y Scielo.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos son las herramienta de cómo a partir de los artículos seleccionados se va obtener la información que atienda directamente a las preguntas establecidas (Moreno, 2018, p. 2); dentro del cual, se desprende la Técnica de Análisis Documental, correspondiente a un proceso analítico – sintético que incluye una descripción bibliográfica y

general de la fuente, traducción, extracción y establecimiento de reseñas, siendo necesario realizar un proceso documental, partiendo de una estructura de información que indique una descripción general de los elementos que lo conforman. (Dulzaides, 2004, p. 2). Luego de recopilar los documentos, se realiza un análisis de su información, esta fase corresponde a un establecimiento de categorías, unidades descriptivas, criterios de comparabilidad e interpretaciones de datos, el cual permite obtener una mejor comprensión de un fenómeno materia del estudio (Paz, 2003, p. 4).

En la presente investigación, se empleó este tipo de técnica, partiendo por un proceso de recopilación de artículos relacionados al Biochar y la Fitorremediación, para luego en cada artículo seleccionado, aplicar una Ficha de análisis de contenido, que tiene comprendido una estructura de los elementos a extraer de cada artículo, como es para fines de nuestra investigación: palabras claves, tipo de técnica de remediación, costos para la aplicación del biochar o remediación, tipos de metales absorbidos por la aplicación del biochar o fitorremediación, condiciones del terreno a remediar, conclusiones y recomendaciones. Esta ficha permitió la obtención de información más concisa e idónea sobre el tema de investigación, el cual se utilizó en la fase de análisis. (Anexo N°01).

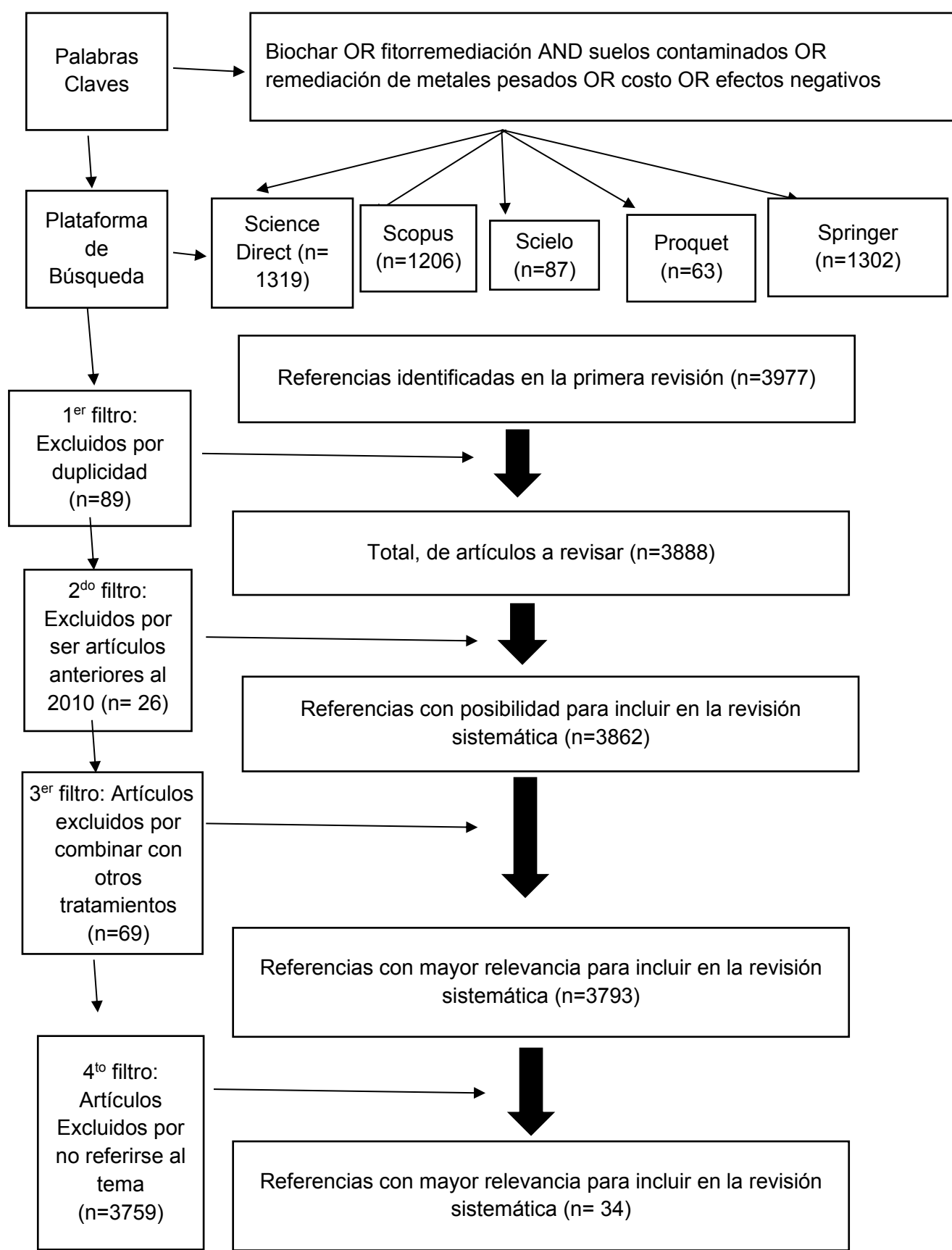
3.6. Procedimientos

El procedimiento para la obtención de información que contribuya a desarrollar el presente trabajo de investigación se enfocó en las palabras claves, a fin de buscar información relevante con el tema de investigación, haciendo uso de diferentes plataformas de búsqueda y recolección de información, siendo la más usada la de Scient Direct.

Durante este proceso se siguió los criterios de exclusión, tales como la duplicidad de artículos de fuentes seleccionadas, es decir, aquellos artículos que han indexados y publicados en más de una plataforma de búsqueda. También se excluyeron los artículos que son anteriores al año 2010, toda vez que estas tecnologías han sido investigadas con mayor profundidad en los últimos 10 años; así mismo se consideró como criterio de exclusión los artículos que combinan otros tratamientos diferentes al biochar y

fitorremediación, ya que las y finalmente se eliminaron las fuentes por no referirse al tratamiento de metales pesados. Los criterios de inclusión que se siguieron para la selección de los artículos fueron los siguientes, aquellos artículos que no se dupliquen con otros que se hayan buscado en distintas plataformas de búsqueda, el segundo fue emplear los artículos que están comprendidos entre los años 2010 al 2020, el tercer criterio de inclusión fue la selección de artículos que no combinan los tratamiento de biochar y fitorremediación con otras técnicas distintas, finalmente se hará uso de los artículos que tiene relación con el tema de tratamiento de metales pesados, en la cual se usarán los relevantes para el desarrollo del proyecto de investigación. A continuación, se muestra un cuadro donde se especifica el proceso de selección de las fuentes.

Gráfico N°01: Resumen de criterios de búsqueda



Fuente: Elaboración propia

3.7. Rigor científico

El rigor científico representa el control de calidad que se realiza a la información contenida en una investigación y considerando que la investigación cualitativa se sienta en los juicios de otros autores, es decir la obtención de datos no es de manera directa bajo experiencia personal; para evaluar la calidad científica de este tipo de investigaciones se debe cumplir con 4 criterios fundamentales (Castillo, 2003, p. 1), siendo los siguientes:

Credibilidad, este criterio se logra cuando los autores de los artículos científicos fuentes confieren reconocimiento a las deducciones obtenidas resultado de su investigación (Jiménez, 2011, p. 21), de esta manera al incorporar información de los criterios que los autores emplearon para la obtención de los aportes, dichos hallazgos se consideran fiables, verdaderos y pueden ser utilizados para otras investigaciones (Valencia, 2011, p. 24). En la presente investigación la credibilidad se cumplió en el sentido que la información recabada sobre el biochar y fitorremediación es reconocida y respaldada por diferentes autores, para ello se contrastó deducciones obtenidas entre varios otros autores, a fin de que exista una congruencia y veracidad de información.

Dependencia o consistencia lógica, viene a ser el grado de similitud en que los autores de los artículos fuentes recaban la información en campo y realizan el análisis, de tal manera que los resultados obtenidos presentan cierta concordancia (Salgado, 2007, p. 4). Además, se habla de consistencia externa cuando existe compatibilidad entre el conocimiento y la teoría existente, en concordancia con el contexto social y abarca elementos de fijación en la información y la rastreabilidad de estos (Corral, 2016, p. 2). En lo que respecta a la dependencia de la presente investigación se procuró que la información recolectada en correlación con cada tema puntual del presente trabajo, sea a partir de investigaciones que cumplan con similares características en lo que respecta a determinación de los mecanismos de reducción de metales pesados, costos asociados e identificación de posibles impactos negativos en la aplicación del biochar y la fitorremediación en suelos, para que de esta manera existan resultados más consistentes y equivalentes.

La transferibilidad o aplicabilidad, consiste en la probabilidad de aplicar los resultados obtenidos en un estudio a otros, es decir evaluar que tanto se pueden ajustar o transferir los hallazgos a un contexto diferente de la investigación (Castillo, 2003, p. 1), para ello es necesario describir detalladamente el contexto del estudio y las características de la población donde el fenómeno o evento fue estudiado; así como, ser comprensivo desde el punto de vista teórico (Corral, 2014, p. 29). En mérito a lo anterior, la presente investigación cumplió también con el grado de transferibilidad, toda vez que se presente tomar en cuenta el contexto ambiental y las características de los suelos, materia del estudio, siendo así que los resultados obtenidos sean representativos y puedan ser aplicados por otros investigadores en ambientes similares a la presente.

La auditabilidad o confirmabilidad, se trata de la destreza que puede tener el investigador para continuar por la misma línea de trabajo que el autor del artículo precedente realizó, para ello es esencial se registre todas las ideas y disposiciones que el autor haya hecho en referencia con el tema de estudio (Salgado, 2007, p. 5). La auditabilidad permite una interlocución sólida y transparente que permite asegurar la calidad de información extraída (Valencia, 2011, p. 13). Para fines de la presente investigación se examinó los criterios y decisiones que hayan tomado los autores en relación a la aplicación del biochar y fitorremediación para la estabilización de metales pesados en suelos, considerándose estos como criterios de análisis en cada información a obtener.

3.8. Método de análisis de información

El procedimiento para el análisis de información fue de acuerdo a las siguientes categorías: Tratamiento de metales pesados, Costos de aplicación e Impactos. También por las subcategorías que serán de acuerdo a la técnica que se usará, es decir, el biochar y fitorremediación. Así mismo, se analizará cada criterio, para la categoría de tratamientos de metales pesados serán: mecanismo de interacción, de acuerdo al tipo de metal pesado y los factores que afectan el tratamiento. En el caso de la categoría costos de aplicación los criterios serán: de acuerdo a la extensión del terreno, a la concentración

de metales pesados y al tiempo de tratamiento. Finalmente, para categoría de impactos, los criterios serán los siguientes: impactos en la actividad microbiana, en la salud y en las propiedades del suelo.

3.9. Aspectos éticos

En el presente trabajo de investigación de tipo narrativo de utópicos las fuentes analizadas en su mayoría fueron artículos científicos, los cuales han sido debidamente citadas y referenciadas usando la norma internacional ISO 690. (Referencias estilo ISO 690, 2017, p. 7).

Se cumplió los principios éticos de autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia para revisar los trabajos previos de otros autores y realizar este trabajo de investigación. Según Arguedas (2010), trata de dar una explicación fácil y precisa de dichos principios bioéticos como son los siguientes (p. 27).

Principio de autonomía: Se refiere a los derechos de cada individuo para tomar sus propias decisiones, siempre que tengan un consentimiento informado aquellas personas que van a participar en la investigación.

Principio de beneficencia y no maleficencia: Hace referencia a la obligación de no hacer daño a las personas que participaron de la investigación, en lo posible incrementar los aspectos benéficos y tratando de disminuir los riesgos.

Principio de justicia: Se enfoca en la igualdad de la distribución de los beneficios y los riesgos de la investigación (p. 77).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La revisión de los artículos de investigación se efectuó partiendo de las plataformas de búsqueda anteriormente mencionadas, de los cuales se obtuvieron 1319 resultados en Science Direct, 1206 en Scopus, 89 en Scielo, 63 en Proquest y 1302 en Springer, siendo un total de 3977 resultados. En función de estos, en un primer filtro, se eliminaron aquellos que eran duplicados, teniéndose 3888 artículos; en un segundo filtro se excluyeron aquellas investigaciones que fueron realizadas anteriores al 2010, haciéndose un total de 3862 artículos, así sucesivamente se excluyeron los artículos que combinaban el biochar y fitorremediación con otros tratamientos, resultando 3759, y finalmente extrayendo artículos que no hacían referencia al tema de investigación se obtuvieron 34 publicaciones, tal como se detalla en la siguiente gráfica.

Tabla N° 2: Tabla de información de los artículos seleccionados

N°	Nombre del artículo de investigación	País	Año	Autores
1	Remediation of heavy metal contaminated soils by biochar: Mechanisms, potential risks and applications in China.	China	2019	He Lizhie, et.al.
2	Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta- analysis	USA	2020	Fatemeh Razzaghia, Peter Bilson Obourb, Emmanuel Arthurb
3	A review on in situ phytoremediation of mine tailings.	China	2017	Wang, Ji, Hu, Liu y Sun
4	A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils.	Pakistán	2017	Khalid, Shahid, Khan, Murtaza, Bibi y Dumat,
5	Phytoremediation of mixed soil contaminants, Water, Air, Soil Pollut.	India	2012	Ramamurthy y Memarian
6	Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals.	Brasil	2010	Kovamura y Esposito
7	Adaption Mechanisms in Plants Under Heavy Metal Stress Conditions During Phytoremediation	India	2019	Singh, Bhushan, et.al.
8	Cost-benefit calculation of phytoremediation technology for heavy-metal-contaminated soil.	China	2016	Wan, Lei, Chen
9	Modelling assisted phytoremediation of soils contaminated with heavy metals - Main opportunities, limitations, decision making and future prospects.	Polonia	2020	Jaskulak, Grobelak, Vandenbulcke
10	Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review	China	2016	Mahar, Wang, et.al
11	Assisted phytoextraction of heavy metals: compost and <i>Trichoderma</i> effects on giant reed uptake and soil quality.	Italia	2012	Fiorentino, et. al.

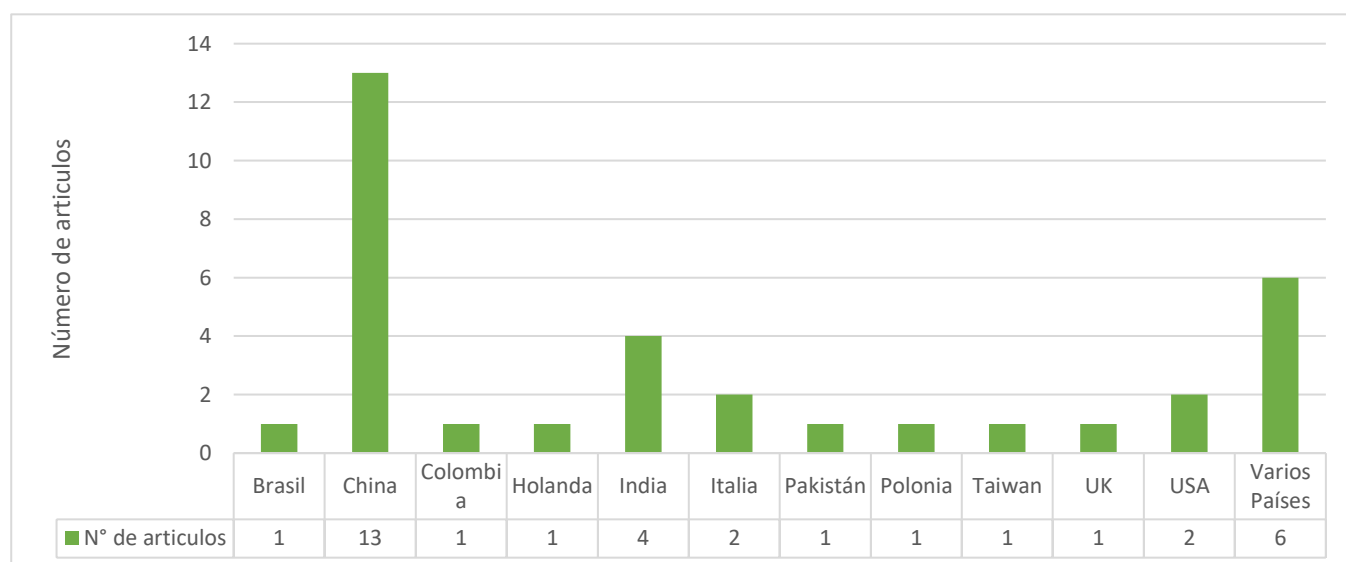
12	Phytoremediation of soil co-contaminated with arsenic, lead, zinc and copper using <i>Pteris vittata</i> L.: a field study.	China	2010	Xie, et.al
13	Status of phytoremediation in word scenario.	India	2014	Sharma y Pandey
14	Native herbaceous plants species with potential use in phytoremediation of heavy metals, spotlight on wetlands: a review.	Colombia	2017	Leguizamo, et. al
15	Phytoremediation: form theory towards practice.	Holanda	2019	Pandey y Bajpai
16	Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A brief review	Italia	2017	Cristaldi, Oliveri, Jho, et.al
17	Bio-degradation of bisphenol A by <i>Pseudomonas aeruginosa</i> PAb1 isolated from effluent of thermal paper industry: kinetic modeling and process optimization.	India	2018	Vijayalakshmi, et al.
18	Rhizosphere effects of PAH-contaminated soil phytoremediation using a special plant named Fire Phoenix.	China	2014	Liu, et.al.
19	A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils	Varios Países	2011	Luke Beesley, et al.
20	Role of biochar and <i>Eisenia fetida</i> on metal bioavailability and biochar effects on earthworm fitness	China	2020	Caide Huang, Weiyue Wang, Shizhong Yue, Muhammad Adeel, Yuhui Qiao
21	Stabilization of heavy metal-contaminated soils by biochar: Challenges and recommendations	China	2020	Yangyang Wang, et al.
22	Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil	Varios Países	2012	Shelby Rajkovich, et al.
23	Influence of pyrolysis temperature and feedstock on the properties of biochars produced from agricultural and industrial wastes.	Varios Países	2020	José Alexander Rodríguez, et al.
24	Impact of soybean stover- and pine needle-derived biochars on Pb and As mobility, microbial community, and carbon stability in a contaminated agricultural soil	Varios Países	2016	Mahtab Ahmad, et. al
25	Recent advances in nanoscale-metal assisted biochar derived from waste biomass used for heavy metals removal	Varios Países	2017	Shih-Hsin Ho, Shishu Zhu, Jo-Shu Chang
26	"Effects of rice straw ash amendment on Cu solubility and distribution in	Taiwán	2011	Jang-Hung Huang, Shen-Huei Hsu, Shan-Li Wang
27	Flooded rice paddy soils"	China	2020	Xiao-xia Guo, Hong-tao Liu, Jun Zhang
28	"The role of biochar in organic waste composting and soil improvement:	China	2016	"Xing Yang & Jingjing Liu & Kim McGrouther &
29	An assessment of emergy, energy, and cost-benefits of grain production over 6 years following a biochar amendment in a rice paddy from China	China	2018	Huagang Huang & Kouping Lu & Xi Guo & Lizhi He &
30	Effect of biochar on the extractability of heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and enzyme activity in soil	USA	2011	Xiaoming Lin & Lei Che & Zhengqian Ye & Hailong Wang"

31	Huagang Huang & Kouping Lu & Xi Guo & Lizhi He &	China	2020	Lei Wang, et. al
32	Xiaoming Lin & Lei Che & Zhengqian Ye & Hailong Wang"	China	2017	Suzette P. Galinato, Jonathan K., Yoder, David Granatstein
33	"An assessment of emergy, energy, and cost-benefits of grain production	UK	2013	Xiao-Xia Guo, Hong-tao Liu, Jun Zhang d
34	Over 6 years following a biochar amendment in a rice paddy from China"	Varios países	2017	Xiaomin Zhu, Baoliang Chen, Lizhong Zhu, Baoshan Xing

Fuente: Elaboración propia

Del listado de artículos seleccionados para el desarrollo de los resultados se identificó que gran parte de ellos proceden del país de China (13 artículos), siguiéndole los elaborados por investigadores de diferentes nacionalidades (06 artículos) y el país de India (04 artículos), tal como se puede representar en el siguiente gráfico.

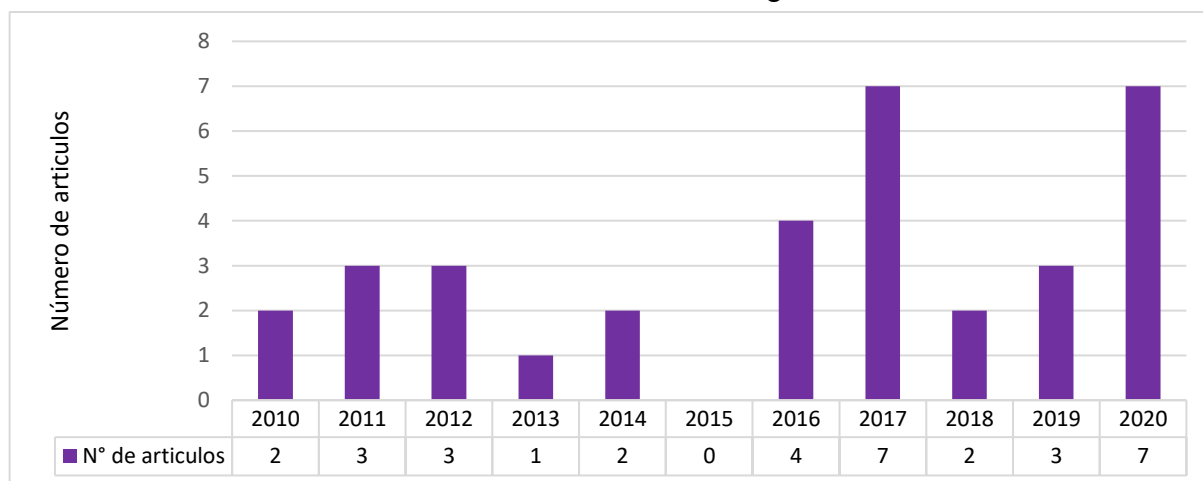
Gráfico N°02: Artículos seleccionados según país de procedencia



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, es preciso mencionar que, de los artículos seleccionados para el desarrollo de los resultados, se tuvo que gran parte de ellos son de los años 2017 (07 artículos) y 2020 (07 artículos), afirmando de esta manera que la información extraída es la más actualizada posible, tal como se puede representar en el siguiente gráfico.

Gráfico N°03: Artículos seleccionados según año de elaboración



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3: Tratamiento de metales pesados

	Técnica biológica	Mecanismo de interacción	De acuerdo al tipo de metal pesado	Factores que afectan el tratamiento
TRATAMIENTO DE METALES PESADOS	Biochars	Los contaminantes inorgánicos (metales pesados) se tratan mediante intercambio iónico, complejación superficial, precipitación e interacciones iónicas. (Oliveira, 2017, p. 25) (He et.al., 2019, p. 2).	<p>Para el tratamiento de Cd (II) y Cu (II), se suelen utilizar biochar derivados de animales y aquellos que presentan grupos funcionales como carbonilos, ya que estos contienen Ca (II) y O respectivamente, que les permite generar un intercambio iónico. (He et.al, 2019, p. 2).</p> <p>Para la inmovilización de Pb (II), se tiene mejores resultados con el uso de biochar de origen de residuos de cultivos. (Lizhi He et.al, 2019, p. 5).</p>	<p>El material orgánico base (biomasa) determina la composición química del biochar, siendo aquellos derivados de abonos los de composición más compleja que los de cultivos, teniendo diferentes efectos en el tratamiento. (Wang et al., 2020, p. 3).</p> <p>A mayor T° de pirolisis, mayor es el contenido de C, lo que resulta en una disminución de O/C y H/C, así como también cambia el valor de pH y la distribución de poros, modificando así la capacidad del biocarbón para tratar los metales pesados. (Wang et al., 2020, p. 3).</p> <p>Otro factor que influye en el tratamiento es el pH del suelo contaminado, teniendo mejores resultados cuando es bajo (ácido), ya que el pH del biochar tiende a ser mayor a 7 (alcalino). (Wang et al, 2020, p. 3).</p>
	Fitorremediación	Los metales pesados se pueden tratar mediante la fitoextracción, fitovolatilización, fitoestabilización y fitodegradación. (Pandey y Bajpai, 2019, p.5).	<p>En el tratamiento del Zn, Pb y el Cu se usan las siguientes especies de plantas como <i>Agrostis spp.</i> y <i>Festuca spp.</i> (Khalip, 2017, p. 255).</p> <p>El <i>Thlaspi caerulescens</i> (familia Brassicaceae), <i>Pteris vittata</i> y <i>Arabidopsis halleri</i> (especie hermana de <i>Arabidopsis thaliana</i>), son especies de plantas para la remediación de suelos contaminados con Cd, Ni, Cu, Zn, Pb, Cr y As. (Singh, Bhushan, et.al., 2019, p. 328).</p>	<p>Las T° altas afectan en los mecanismos de acumulación de metales pesados en las plantas, ya que la influencia de este medio repercute sobre la fitodisponibilidad. (Laghlami et al., 2015, p. 8, Kovamura y Esposito, 2010, p.12).</p> <p>Las propiedades del suelo (pH, la conductividad eléctrica, la textura y la materia orgánica) influyen también en la fitodisponibilidad del metal hacia las plantas, ya que perjudica en la solubilización del metal en solución del suelo. (Pathak, Vikram y Chandra, 2020, p.10)</p>

Fuente: Elaboración propia

Las interacciones que se producen entre el biochar y el metal pesado en un suelo contaminado están dadas por diferentes mecanismos tales como: atracción electrostática, intercambio iónico, complejación superficial y; los cuales están determinados según la fuente de materia prima, las diversas condiciones de pirólisis en la producción del biochar y las propiedades del suelo precipitación (Oliveira, 2017, p. 25); por otro lado Guo (2020) señala que la adsorción, complejación, precipitación y reducción afectan la movilidad y biodisponibilidad de los metales pesados, siendo estos correlacionados directamente con los grupos funcionales y/o la carga contenida en el biochar (p. 3). Según He et.al. (2019) la atracción electrostática está referida a que la alta electronegatividad del biochar facilita la atracción electrostática de iones cargados positivamente, cuya intensidad depende de los grupos funcionales cargados negativamente, siendo este mecanismo utilizado para la inmovilización del Pb (II) (p. 2); ello lo complementa Ahmad et.al.(2016), quien demostró que el aumento de pH del biochar puede incrementar la adsorción de Cu (II), asimismo esta adsorción también aumenta según las concentraciones de metales pesados. En relación al intercambio iónico, He et.al. (2019) señala que consiste en utilizar la alta capacidad de intercambio catiónico (CEC) que tiene el biochar para que se realice un intercambio de los cationes Ca (II) y Mg (II) con los iones metálicos en la superficie del biochar; por otro lado Ho (2017) menciona que el intercambio iónico ocurre con aquellos biochars que tienen al oxígeno como parte de sus grupos funcionales y que este depende de la naturaleza de los metales pesados, la química de la superficie de los compuestos del biochar y la carga superficial (p. 5). La complejación está determinada por aquellos biochars que tienen bajos contenidos de minerales, como los biochars producidos a partir de residuos de cultivo (He et.al, 2019, p. 2), especialmente aquellos que tienen los grupos funcionales carbonilo, carboxilo, fenólico, los cuales permiten formar complejos con cationes metálicos como Pb (II), Cr(II) y Cr(III), cabe precisar que la capacidad del biochar para formar complejos aumenta según el incremento de concentraciones de Fe (II), Mn (II) y carbonato (Huang, 2011, p. 5). La precipitación trata de la formación de precipitados insolubles entre los elementos minerales contenidos en el biochar con los metales pesados, siendo que el biochar derivado de estiércol animal presenta alta efectividad para este mecanismo por su alto contenido de azufre (grupo SH y sulfato) (Oliveira, 2017, p. 14), ello lo demuestra He et.al. (2019) cuando utilizó el biochar derivado de cerdo, el cual

contienda altas concentraciones de P en la superficie, señaló tener buenos resultados en la precipitación del Cd y Pb (p. 2).

El tratamiento de fitorremediación también presenta mecanismos de interacción con el metal pesado, para los cuales se ha recopilado información de cada especie de planta utilizada por los autores que se citaron, en la que el criterio de selección de especies vegetales se basa en la capacidad de acumular, estabilizar, tolerar y degradar los metales pesados (Tabla N° 4). Cabe señalar, que las diferentes fuentes citadas señalan que actualmente existen más de 500 especies identificadas con un potencial alto de acumulación de metales pesados, a las cuales se les denomina hiperacumuladores. Existen dos plantas que debido a sus características son las más usadas para realizar la fitorremediación, y de ellas se desprenden las otras especies que se mencionaron en la Tabla N° 4; la primera planta son las herbáceas que posee propiedades de rápido crecimiento, alta capacidad de acumulación de metales pesados y adaptación a distintos tipos de suelos. A pesar de ello, las plantas herbáceas tienen limitaciones, puesto que su escasa biomasa reduce la acumulación de metales pesados en las partes aéreas de las plantas. (Cappa y Pílon, 2014, p. 8). La segunda planta son las leñosas, de rápido crecimiento, de abundante biomasa aérea y raíces extensas, siendo esta especie la más usada para la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, debido a su gran biomasa acumula grandes cantidades de estos contaminantes (Luo et al., 2016, p. 5).

Para (Pandey y Bajpai, 2019, p. 3), la fitorremediación se basa en mecanismos tales como: fitoextracción, fitoestabilización y fitoevaporación, que según la especie utilizada cumple con realizar un mecanismo en específico para remediar los suelos contaminados con metales pesados.

Tabla N° 4: Especies de plantas, metal tratado y mecanismos de la fitorremediación

N°	Especies de Plantas	Metal	Mecanismos de la fitorremediación	Autores
1	<i>Typha latifolia</i>	Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb y Zn	Fitoextracción	Ramamurthy y Memarian, 2012
2	<i>Chromolaena odorata</i>	Cd, Ni y Zn	Fitoextracción	Fiorentino, et al., 2012
3	<i>Ipomoea carnea</i>	Cd, Pb, Cu, Cr, Mn y Ni	Fitoextracción	Fiorentino, et al., 2012
4	<i>Amaranthus spinosus</i>	Cu, Zn, Cr, Pb, Cd	Fitoextracción	Jaskulak, Grobelak y Vandenbulcke, 2020

5	<i>Tithonia diversifolia</i>	Zn y Pb	Fitoextracción	Jaskulak, Grobelak y Vandenbulcke, 2020
6	<i>Spartina alterni</i>	Cr, Cu, Pb, Fe y Zn	Fitoextracción	Jaskulak, Grobelak y Vandenbulcke, 2020
7	<i>Thlaspi caerulescens</i>	Cd, Ni, Cu, Zn, Pb, Cr y As	Fitoextracción	Singh, Bhushan, et al., 2019
8	<i>Pteris vittata</i>	Cd, Ni, Cu, Zn, Pb, Cr y As	Fitoextracción	Xie, et al., 2010 y Singh, Bhushan, et al., 2019
9	<i>Arabidopsis halleri</i>	Cd, Ni, Cu, Zn, Pb, Cr y As	Fitoextracción	Singh, Bhushan, et al., 2019
10	<i>Pluchea indica</i>	Pb	Fitoestabilización	Kaewtubtim et al., 2018
11	<i>Spartina densi</i>	Co	Fitoestabilización	Cambrollé et al., 2011
12	<i>Agrostis spp.</i>	Cu, Zn, y Pb	Fitoestabilización	Khalip, et al., 2017
13	<i>Festuca spp.</i>	Cu, Zn, y Pb	Fitoestabilización	Khalip, et al., 2017
14	<i>Brassica juncea</i>	Se y Hg	Fitoevaporación	Mahar, Wang, et al., 2016

Fuente: Elaboración propia

Para el tratamiento de Cd (II) y Cu (II), se suelen utilizar biochar derivados de animales, ya que estos contienen Ca (II), que les permite generar un intercambio iónico, remediando así los suelos contaminados con estos metales, por lo que el tratamiento de estos metales está determinado por la materia prima del biochars (He et.al, 2019); dicho resultado lo complementa Oliveira (2017), el cual señala que el Cu (II) también presenta una alta afinidad por los grupos carboxilos e hidroxilos presentes en los biochars derivados de madera dura y paja, de manera que el tratamiento de este metal depende del tipo de materia prima y del pH, ya que en un pH de 6 a 7 la inmovilización se da por intercambio catiónico en la superficie del carbón, mientras que en un pH de 7 a 9 la inmovilización se da bajo complejación y atracción electrostática (p. 25); por otro lado, Yang (2016) menciona que los biochars procedentes de bambú y paja de arroz son los más eficaces para reducir Cu y Pb que Cd y Zn en el suelo, siendo el eficaz el de bambú (p. 3). En la fitorremediación la inmovilización de metal depende de la especie vegetal, tales como *Thlaspi caerulescens* (familia Brassicaceae), *Pteris vittata* y *Arabidopsis halleri* (especie hermana de *Arabidopsis thaliana*), debido a sus capacidades para remediar suelos contaminados con Cd, Ni, Cu, Zn, Pb, Cr y As. Así lo señalan, (Singh, Bhushan, et.al., 2019, p. 21).

Para la inmovilización de Pb (II), He (2019) señala que este se realiza a partir de la liberación de P contenido en el biochar, el cual forma precipitados como hidroxipiromorfito e hidróxido de fosfato (p. 2), siendo ello coincidente con Oliveira (2017) quien menciona que la alta eficiencia de eliminación de Pb (II) se atribuye al

aumento del pH del suelo y a su precipitación en forma de hidróxidos, óxidos, carbonatos y fosfatos (p. 25). En cambio, (Khalip, et al., 2017, p. 17) no indican que la inmovilización del Pb en la fitorremediación se logra con las siguientes especies vegetales: *Agrostis spp.* y *Festuca spp.* que por sus características pueden inmovilizar los contaminantes como el Zn, Pb y el Cu, mediante la fitoestabilización.

Tabla N° 5: Influencia de la temperatura en el pH y superficie del biochar

N°	Materia prima base	Temperatura de pirolisis	pH	Superficie (m2/g)	Autor
1	Pino	300°C	6.74	157	(Chen, 2008, p 8) (Rajkovich et al.,2012, p. 3)
2	Pino	400°C	4.57	413	(Chen, 2008, p 8) (Rajkovich et al.,2012, p. 3)
3	Pino	500°C	5.62	524	(Chen, 2008, p 8) (Rajkovich et al.,2012, p. 3)
4	Pino	600°C	5.62	611	(Bianco, 2020, p. 5) (Rajkovich et al.,2012, p. 3)
5	Cascaras de Maní	300°C	8.2	3.75	(Wang et al, 2015, p. 4)
6	Cascaras de Maní	350°C	9.3	4.14	(Wang et al, 2015, p. 4)
7	Cascaras de Maní	400°C	9.3	4.57	(Wang et al, 2015, p. 4)
8	Cascaras de Maní	500°C	10.2	5.06	(Wang et al, 2015, p. 4)
9	Cascaras de Maní	600°C	10.4	5.06	(Wang et al, 2015, p. 4)
10	Caña de Bambú	300°C	8.4	2.72	(Zheng, 2013, p 3)
11	Caña de Bambú	350°C	8.1	2.16	(Zheng, 2013, p 3)
12	Caña de Bambú	400°C	8.1	3.04	(Zheng, 2013, p 3)
13	Caña de Bambú	500°C	9.7	2.58	(Zheng, 2013, p 3)
14	Caña de Bambú	600°C	10.7	5.0	(Zheng, 2013, p 3)
15	Cascara de almendra	673°C	6.4	0.84	(Rodríguez, 2020, P 8)
16	Cascara de almendra	773°C	9.65	0.44	(Rodríguez, 2020, p 8)
17	Cascara de almendra	873°C	9.46	0.37	(Rodríguez, 2020, p 8)
18	Cascara de nuez	673°C	7.36	2.41	(Rodríguez, 2020, p 8)
19	Cascara de nuez	773°C	4.3	0.35	(Rodríguez, 2020, p 8)
20	Cascara de nuez	873°C	4.87	0.13	(Rodríguez, 2020, p 8)
21	Excretas de ave	300°C	8.12	41.5	(Thang, 2019, p.4) (Rajkovich et al.,2012, p. 3)
22	Excretas de ave	400°C	9.85	66.7	(Thang, 2019, p.4) (Rajkovich et al.,2012, p. 3)
23	Excretas de ave	500°C	10.57	68.8	(Thang, 2019, p.4) (Rajkovich et al.,2012, p. 3)
24	Excretas de ave	600°C	10.65	70.2	(Thang, 2019, p.4) (Rajkovich et al.,2012, p. 3)
25	Maíz	300°C	7.33	141	(Rajkovich et al.,2012, p. 3)
26	Maíz	400°C	9.17	282	(Rajkovich et al.,2012, p. 3)
27	Maíz	500°C	9.92	494	(Rajkovich et al.,2012, p. 3)
28	Maíz	600°C	9.95	531	(Rajkovich et al.,2012, p. 3)

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 6: Influencia de la materia prima y temperatura en el contenido de minerales del biochar

N°	Materia prima base	Temperatura de pirolisis	pH	P (mg/kg)	Ca (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)	Autor
1	Pino	300°C	6.74	255	2,927	692	680	327	(Chen, 2008, p 8) (Rajkovich et al.,2012, p. 3)
2	Pino	400°C	4.57	35	2,247	373	482	351	(Chen, 2008, p 8) (Rajkovich et al.,2012, p. 3)
3	Pino	500°C	5.62	1	2,741	682	796	332	(Chen, 2008, p 8) (Rajkovich et al.,2012, p. 3)
4	Pino	600°C	5.62	14	2,167	775	604	320	(Bianco, 2020, p. 5) (Rajkovich et al.,2012, p. 3)
5	Excretas de ave	300°C	8.12	26,414	157,531	40,013	8,914	3,868	(Thang, 2019, p.4) (Rajkovich et al.,2012, p. 3)
6	Estiércol de ave	400°C	9.85	17,957	265,729	31,751	7,164	3,209	(Thang, 2019, p.4) (Rajkovich et al.,2012, p. 3)
7	Estiércol de ave	500°C	10.57	30,555	204,205	28,109	10,436	4,537	(Thang, 2019, p.4) (Rajkovich et al.,2012, p. 3)
8	Estiércol de ave	600°C	10.65	23.596	242,788	27,400	8,769	3,457	(Thang, 2019, p.4) (Rajkovich et al.,2012, p. 3)
9	Maíz	300°C	7.33	1369	6,480	17,052	5,883	492	(Rajkovich et al.,2012,p. 3)
10	Maíz	400°C	9.17	1,812	7,254	20,234	6,583	904	(Rajkovich et al.,2012,p. 3)
11	Maíz	500°C	9.92	1,852	11,699	24,817	9,510	1,384	(Rajkovich et al.,2012,p. 3)
12	Maíz	600°C	9.95	2,114	9,383	24,616	8,582	1,539	(Rajkovich et al.,2012,p. 3)
13	Residuos orgánicos	300°C	7.52	5.9	28.2	13.0	3.3	9.9	(Rajkovich et al.,2012,p. 3)
14	Residuos orgánicos	400°C	8.27	5.0	51.7	14.6	5.3	9.0	(Rajkovich ,2012,p. 3)
15	Residuos orgánicos	500°C	9.67	7.5	53.8	21.3	4.5	13.7	(Rajkovich et al.,2012,p. 3)
16	Residuos organices	600°C	10.53	8.2	73.5	27.9	6.6	14.5	(Rajkovich et al.,2012,p. 3)
17	Estiércol de cerdo	300°C	7.19	83.00	11.6	9.8	7.24	1.85	(Rodriguez et al., 2020, p. 6)
18	Estiércol de cerdo	400°C	8.95	95.30	13.10	12.80	7.85	2.25	(Rodríguez et. al , 2020, p. 6)
19	Estiércol de cerdo	500°C	10.6	109.00	9.20	14.90	7.95	2.28	(Rodríguez et. al, 2020, p. 6)
20	Estiércol de cerdo	600°C	9.59	121.00	15.10	17.30	9.24	3.73	(Rodríguez et. al, 2020, p. 6)
21	Madera de construcción	300°C	7.54	1.43	39.90	0.73	0.10	0.42	(Rodríguez et. al, 2020, p. 6)
22	Madera de construcción	400°C	9.63	1.04	71.90	0.82	0.12	0.39	(Rodríguez et. al, 2020, p. 6)
23	Madera de construcción	500°C	8.75	1.13	89.10	1.00	0.10	0.49	(Rodríguez et. al, 2020, p. 6)
24	Madera de construcción	600°C	9.51	1.25	134.00	1.14	0.23	0.58	(Rodríguez et. al, 2020, p. 6)

Fuente: Elaboración propia

Los factores que principalmente afectan el tratamiento de metales pesados con biochar, son la materia prima de base y las condiciones de pirólisis durante su producción (Oliveira, 2017, p. 4). La temperatura de producción es un factor que influye en las características del biochar, siendo que a pirólisis más alta mayor es la carbonización y el contenido del carbono, lo cual resulta en una disminución de la relación O/C y H/C, así como aumento del valor de pH y área superficial del biochar (Wang et al., 2020, p. 3), lo mencionado se corrobora con lo recopilado según la Tabla N°5, obteniéndose mayores valores para el biochar de bambú cuando se incrementa la pirólisis de 300 °C a 600 °C resultando aumento del pH de 8.4 a 10.7 y el área superficial de 2.72 a 5 m²/g respectivamente (Zheng, 2013, p 3), seguido por el biochar de excreta de ave cuando se incrementa la pirólisis de 300 °C a 600 °C resultando aumento de pH de 8.12 a 10.65 y área superficial de 41.5 a 70.2 m²/g respectivamente (Rajkovich et al., 2012, p. 3), generado así mayor eficiencia en el tratamiento del metal pesado. El biochar se produce a partir de varios tipos de materiales orgánicos como astillas de madera, residuos de cultivo, abonos, residuos orgánicos municipales y cáscaras de fruta, sin embargo la composición de sus productos de biochar difieren mucho, siendo que la composición de astillas de madera y los residuos de cultivo presentan una composición más simple (celulosa, lignina y hemicelulosa), que los procedentes de estiércol de animales (Wang et al., 2020, p. 3); ello es coincidente con lo recopilado según la Tabla N°06, obteniéndose mayores valores de P, K, Ca, Mg y Na en aquel biochar procedente de excretas de ave con 23596 242788, 27400, 8,769 y 3457 mg/kg respectivamente (Rajkovich et al., 2012, p. 3), que el procedente de madera de construcción con valores de P, K, Ca, Mg y Na de 1.25, 134.00, 1.14, 0.23 y 0.58 mg/kg respectivamente (Rodríguez et. al, 2020, p. 6).

Para Wang, Ji, Hu, Liu y Sun (2017), la fitorremediación se puede aplicar en suelos con altas concentraciones de metales pesados y pH elevados, donde las plantas hiperacumuladoras pueden crecer debido a su resistencia a los metales (p. 3); sin embargo, para Pathak, Vikram y Chandra (2020), las propiedades del suelo como el pH y la materia orgánica influyen en la fitodisponibilidad, lo cual indica que el tratamiento de fitorremediación no sería tan eficiente (p. 11). Asimismo, la temperatura influye en la fitodisponibilidad, afectando los mecanismos de acumulación de metales pesados en las plantas (Laghlimi et al., 2015, p. 8, Kovamura y Esposito, 2010, p.12).

Tabla N° 7: Costos del Biochar y Fitorremediación

	Técnica biológica	De acuerdo a la extensión del terreno	De acuerdo a la concentración de metales pesados	De acuerdo al tiempo de tratamiento
COSTOS DE APLICACIÓN	Biochar	El costo promedio del biochar 114 USD/tn (Galinato, 2011, p. 5) y la aplicación de biochar procedente de paja de trigo, a una tasa de 20 t / ha genera un costo de 4000 USD por hectárea (Wang, 2018, p. 12).	A mayor concentración de metales pesados mayor es la tasa de aplicación, lo cual se ve reflejado en los costos (Bianco, 2020, p. 5).	Promediado que la aplicación se da una sola vez en 6 años, el costo correspondería a unos 600 USD por hectárea, para una economía de producción agrícola. (Wang, 2018, p. 12).
	Fitorremediación	La fitorremediación de 2 hectáreas de tierra costaría un aproximado de 17 000 euros. (Jaskulak, Grobelak, Vandenbulcke, 2020, p.11). Asimismo, el mantenimiento e instalación de estas plantas son bajos. (Fiorentino, et. al., 2012, p. 12).	En suelos contaminados con Ni, la fitorremediación usando la Brassicae. coddii generó un gasto de 11 500 USD australianos por hectárea. (Mahar, Wang, et.al., 2016, p.7)	En dos años la aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados con As, Cd y Pb se estimó un costo total de 75 375,2 USD por hectárea. (Wan, Lei y Chen, 2015, p. 2). La fitorremediación es una tecnología limpia, económica, fácil de operar y es aplicada por más tiempo. (Sharma y Pandey, 2014, p.14).

Fuente: Elaboración propia

La aplicación del biochar y la fitorremediación tiene un costo bajo a comparación de las técnicas de remediación convencionales como: lavado de suelos, remediación electrocinética, etc., estas técnicas pueden llegar a costar más de 160 000 euros, aproximadamente 189 449 USD y causan daños en el ecosistema. (Jaskulak, Grobelak y Vandenbulcke, 2020, p.11).

De la tabla N° 7, el biochar tiene diferentes costos de aplicación, de acuerdo a la extensión del terreno, concentración de los metales pesados y el tiempo de tratamiento. En el cual (Wang, 2018, p. 12), nos indica que el biochar a partir de paja de trigo tiene un costo de 4000 USD, para una hectárea de terreno contaminado, siendo los insumos lo que mayor costo genera en este tratamiento. Para la concentración de metales pesados, (Bianco, 2020, p. 5) sostiene que a mayor concentración se usa mayores cantidades de biochar, implicando un costo así mayor en el tratamiento. Para (Wang, 2018, p.12), el costo de aplicación del biochar es de 600 USD para un tiempo de 6 años.

Según (Jaskulak, Grobelak, Vandenbulcke, 2020, p.11), la fitorremediación de 1 hectárea de tierra contaminada con metales pesados costaría un aproximado de 17 000 euros, aproximadamente 20 139 USD. Asimismo, el mantenimiento e instalación de estas plantas son bajos. (Fiorentino, et. al., 2012, p. 12). Para la concentración del metal pesado Ni, se usó una especie de planta hiperacumuladora *Berkheya coddii*, el cual tuvo un costo de 11 500 dólares australianos, unos 8 388 USD por hectárea. (Mahar, Wang, et.al., 2016, p.7). Finalmente, el tiempo de tratamiento de la fitorremediación de suelos contaminados con As, Cd y Pb fue de 2 años generando un gasto de 75 375 USD por hectárea. (La fitorremediación es aplicada por más tiempo, y es considerada una técnica limpia, rentable y sencilla de operar. (Sharma y Pandey, 2014, p.14).

Por lo tanto, la extensión del terreno contaminado con metales pesados demandará mayores gastos para la aplicación del biochar o la fitorremediación, sin embargo, en una comparación de estos métodos para una hectárea, resultó que el biochar es más rentable, ya que tuvo un costo de 4000 USD. (Wang, 2018, p. 12), mientras en el caso de la fitorremediación se gastó 20 139 USD. (Jaskulak, Grobelak, Vandenbulcke, 2020, p.11).

Tabla N° 8: Impactos de la Biochar y Fitorremediación

IMPACTOS		En la actividad microbiana	En la salud	En las propiedades del suelo
	Biochar	Las afectaciones del biochar sobre la actividad microbiana son: refugio para los microorganismos del suelo debido a su estructura porosa, suministro de nutrientes hacia los microorganismos del suelo, toxicidad potencial con COV y radicales libres persistentes en el ambiente, mejora los hábitats microbianos al mejorar las propiedades del suelo (aireación, contenido de agua y pH), induce cambios en las actividades enzimáticas que afectan los ciclos elementales del suelo con los microorganismos, interrumpe la comunicación intra e interespecífica entre las células microbianas y mejora la sorción y degradación de los contaminantes por parte de los microorganismos (Zhu, 2017, p. 2).	La aplicación de biochar en el suelo produce material particulado, incrementándose según la tasa de aplicación, este se introduce en el cuerpo humano a través de la nariz y la boca generando enfermedades respiratorias graves; asimismo las sustancias tóxicas en el biochar son liberados en los suelos luego de su aplicación, el cual puede provocar envenenamiento por ingesta, si no se tiene protocolos de seguridad personal (He et.al, 2019, p. 4).	El biochar es alcalino, por lo que aumenta el pH del suelo con tasas de aplicación crecientes, particularmente en suelos ácidos. (He et.al, 2019, p. 2), asimismo el biochar aumenta los microporos del suelo debido a la alta microporosidad interna del biochar, lo que incrementa la retención de agua (Razzaghia, 2020, p. 7).
	Fitorremediación	Crecimiento acelerado de las hiperacumuladoras por intervención de la actividad microbiana. (Liu, et.al., 2014) La fitorremediación trabaja en conjunto con los microorganismos. No causa una alteración en la actividad microbiana, ya que se encuentran en simbiosis (Vijayalakshmi, et al., 2018).	Los metales pesados acumulados por las plantas hiperacumuladoras se pueden transportar a la cadena alimenticia, debido al incorrecto manejo de la biomasa, provocando daños en la salud del hombre (Ramamurthy y Memarian, 2012, p.9).	No interfiere con el ecosistema, y añade un valor estético a estos suelos impactados por los metales pesados. (Cristaldi, Oliveri, Jho, et.al., 2017) La fitorremediación no afecta al suelo ni física, ni químicamente. (Leguizamo, et. al., 2017).

Fuente: Elaboración propia

Para Zhu (2017) uno de los impactos que el biochar genera en los microorganismos del suelo es que son usados como refugio de los mismos microorganismos, esto debido a que el biochar presenta estructuras porosas, el cual facilita a las células microbianas a adherirse en las superficies del biochar; tal es así que los biochars con grandes superficies específicas proporcionan hábitat para microorganismos (p. 2), mismo que coincide con Guo (2020) quien señala que alta nanoporosidad y la gran superficie del biochar permite la colonización microbiana, ya que utilizan estas cavidades como hábitat (p. 3); sin embargo, contrariamente Quilliam (2013) señala que después de tres años en el suelo, el biochar es escasamente colonizado por microorganismos, debiéndose a cambios transitorio en la propiedades fisicoquímicas del suelo como el pH y estructuras del suelo (p. 8).

En cuanto al impacto que tiene el uso de biochar en la salud, se tiene que según He et.al (2019) la baja densidad del biochar produce en su aplicación material particulado, por lo que puede ocurrir riesgos en la salud al inhalar este polvo a través de la nariz y boca, provocando así síntomas respiratorios (p. 5); ello es corroborado con lo que señala Li (2018) quien demostró que las emisiones de polvo en suelos tratados con una tasa de 2% biochar de cáscara de nuez fue más alto que los suelos sin tratamiento, siendo el incremento de material particulado proporcional a la tasa de aplicación (p. 11).

En relación al impacto que genera el uso de biochar en las propiedades del suelo He et.al (2019) menciona que el biochar es normalmente alcalino, lo cual permite aumentar el pH del suelo con tasas de aplicación crecientes en suelos particularmente ácidos, esto a su vez aumenta la movilidad de los metales pesados mediante la hidrólisis, mejorando así su adsorción por el suelo (p. 5); esto es complementado por Beesley et al. (2011) quien señala que la adición de biochar a suelos neutros o alcalinos puede no resultar en una disminución deseable en la movilidad de los metales pesados en el suelo, por lo que concluye que muchas de las reducciones en la movilidad del metal se deben al efecto enalado de biochar en suelos ácidos y no porque el biochar sea un agente inmovilizador (p. 2).

En el caso de la fitorremediación, la actividad microbiana aporta positivamente para el desarrollo y crecimiento de las plantas hiperacumuladoras (Liu, et al., 2014, p. 354), del mismo modo, (Vijayalakshmi, et al., 2018, p. 2) nos menciona que los microorganismos trabajan en conjunto con la fitorremediación, lográndose una simbiosis. Por lo tanto, la aplicación de la fitorremediación no tiene un impacto negativo en la actividad microbiana.

Para (Ramamurthy y Memarian, 2012, p.9), Los metales pesados acumulados por las plantas hiperacumuladoras se pueden trasladar a la cadena alimenticia, a causa del incorrecto manejo de la biomasa, ocasionando daños en la salud del hombre. También, en el caso del biochar, el material particulado es introducido al cuerpo humano por la boca y nariz causando enfermedades respiratorias considerables, (He et.al, 2019, p. 4).

Según, (Cristaldi, Oliveri, Jho, et.al., 2017, p. 321) el uso de la fitorremediación no impacta en las propiedades del suelo, más añade un valor estético en los suelos contaminados con metales pesados. Del mismo modo, (Leguizamo, et. al., 2017, p. 12) nos indica que la fitorremediación no afecta ni física ni químicamente las propiedades del suelo. Sin embargo, el biochar por su característica alcalino altera el pH del suelo. (He et.al, 2019, p. 2).

V. CONCLUSIONES

Tanto el tratamiento a través del biochar como la fitorremediación presentan diferentes mecanismos para reducir los metales pesados en el suelo, siendo para el biochar la atracción electrostática, intercambio iónico, complejación superficial y precipitación, los cuales están determinados según la fuente de materia prima, las diversas condiciones de pirolisis en la producción del biochar y las propiedades del suelo; mientras que para la fitorremediación es mediante la fitoextracción, fitoestabilización y fitoevaporación, los cuales están determinados según la especie utilizada para la remediación, por lo que cada tratamiento presenta una complejidad respecto a los mecanismos de interacción con los metales pesados.

De acuerdo a la extensión del terreno, concentración de metales pesados y tiempo de tratamiento, el biochar tuvo los costos más rentables para su aplicación y remediar los suelos contaminados con metales pesados, a comparación de la fitorremediación que tuvo un costo de 5 a 10 veces el costo del biochar, debido a que el tiempo de tratamiento es mayor.

Los impactos por la aplicación de biochar y fitorremediación en el suelo, se dan en la actividad microbiana, salud humana y propiedades del suelo; siendo mayormente impactos positivos, ya que en el caso del biochar las superficies porosas son usadas como habidad de los microorganismos y en la fitorremediación permite la simbiosis entre raíz y microorganismo; en cuanto a la propiedades del suelo el biochar genera impactos positivos en respecto al aumento de pH, mejoramiento de la textura y mayor retención de agua, mientras que en la fitorremediación no se identificó impactos; por otro lado en la salud, tanto la fitorremediación como biochar, causan impactos negativos.

VI. RECOMENDACIONES

En base a nuestra investigación recomendamos realizar estudios más profundos en relación a los costos que demanda el uso de biochar y la fitorremediación para la remediación de metales pesados en suelos, tales como el Cd, Cu, Zn y Pb, que son los metales que más se encuentran en el suelo contaminado por estos elementos metálicos; toda vez que la mayoría de investigaciones refieren que estos tratamientos son rentables a comparación de otros, pero muy pocos valorizan monetariamente todo el proceso de compra de insumos, aplicación, mantenimiento del suelo a remediar.

Asimismo resulta necesario realizar más investigaciones que utilicen residuos orgánicos municipales como fuente de materia prima para la producción de biochars y como las municipalidades podrían empezar a adoptar este tratamiento de manera eficiente y sostenible, ya que actualmente el compostaje viene siendo la única alternativa de valorización de estos residuos por parte de las municipalidades a nivel nacional, obteniéndose compost en aproximadamente 4 meses, lo que genera una necesidad de áreas extensas.

Finalmente se recomienda a los futuros investigadores, enfocarse en los impactos positivos o negativos que podría ocasionar el uso del biochar y la fitorremediación en el suelo que se desea descontaminar por el exceso de metales pesados como el Pb, Cd, Zn y Cu, debido a que la información que se tiene es limitada.

REFERENCIAS

AHMAD, Mahtab, et al. Impact of soybean stover-and pine needle-derived biochars on Pb and As mobility, microbial community, and carbon stability in a contaminated agricultural soil. *Journal of Environmental Management*, 2016, vol. 166, p. 131-139.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479715303017>

BEESELEY, Luke, et al. A review of biochars` potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. Vol. 159, 2011.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749111003939>

CAMBROLLÉ, J., et al. The role of two *Spartina* species in phytostabilization and bioaccumulation of Co, Cr, and Ni in the Tinto–Odiel estuary (SW Spain). *Hydrobiologia*, 2011, vol. 671, no 1, p. 95.

Disponible en

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-011-0706-4>

CAPPA, Jennifer J.; PILON-SMITS, Elizabeth AH. Evolutionary aspects of elemental hyperaccumulation. *Planta*, 2014, vol. 239, no 2, p. 267-275.

Disponible en

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00425-013-1983-0>

CASTILLO, Edelmira; VÁSQUEZ, Martha Lucia. El rigor metodológico en la investigación cualitativa. *Colombia médica*, 2003, vol. 34, no 3, p. 164-167.

Disponible en

<https://tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/3460>

CORRAL, Yadira. Validez y fiabilidad de las investigaciones cualitativas. *Revista Arjé*, 2016, p. 196-209.

Disponible en

http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:hPbBCOxjNcAJ:scholar.google.com/&hl=es&as_sdt=0,5

CRISTALDI, Antonio, et al. Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A brief review. *Environmental Technology & Innovation*, 2017, vol. 8, p. 309-326.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186417300330>

DULZAIDES, María Elinor; MOLINA GÓMEZ, Ana María. Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso. *Acimed*, 2004, vol. 12, no 2, p. 1-1.

Disponible en

<http://eprints.rclis.org/5013/1/analisis.pdf>

EMENIKE, Chijioke Uche, et al. Biotransformation and removal of heavy metals: a review of phytoremediation and microbial remediation assessment on contaminated soil. *Environmental Reviews*, 2018, vol. 26, no 2, p.156-168.

Disponible en

<https://bnrc.springeropen.com/articles/10.1186/s42269-019-0214-7>

FIORENTINO, Nunzio, et al. Assisted phytoextraction of heavy metals: compost and *Trichoderma* effects on giant reed (*Arundo donax* L.) uptake and soil N-cycle microflora. *Ital. J. Agron*, 2013, vol. 8, no 4, p. 244-254.

Disponible en

<https://www.agronomy.it/index.php/agro/article/view/539>

GALINATO, Suzette P.; YODER, Jonathan K.; GRANATSTEIN, David. The economic value of biochar in crop production and carbon sequestration. *Energy Policy*, 2011, vol. 39, no 10, p. 6344-6350.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421511005672>

GARCÍA, Carlos, et al. Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. 2002.

Disponible en <https://digital.csic.es/handle/10261/111812>

GUO, Xiao-xia; LIU, Hong-tao; ZHANG, Jun. The role of biochar in organic waste composting and soil improvement: A review. *Waste Management*, 2020, vol. 102, p. 884-899.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X19307445>

HE, Lizhi, et al. Remediation of heavy metal contaminated soils by biochar: Mechanisms, potential risks and applications in China. *Environmental pollution*, 2019.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749119308437>

HO, Shih-Hsin; ZHU, Shishu; CHANG, Jo-Shu. Recent advances in nanoscale-metal assisted biochar derived from waste biomass used for heavy metals removal. *Bioresource technology*, 2017, vol. 246, p. 123-134.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417313664>

HUANG, Caide, et al. Role of biochar and *Eisenia fetida* on metal bioavailability and biochar effects on earthworm fitness. *Environmental Pollution*, 2020, p. 114586.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749120300907>

HUANG, Jang-Hung; HSU, Shen-Huei; WANG, Shan-Li. Effects of rice straw ash amendment on Cu solubility and distribution in flooded rice paddy soils. *Journal of hazardous materials*, 2011, vol. 186, no 2-3, p. 1801-1807.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389410016468>

JASKULAK, Marta; GROBELAK, Anna; VANDENBULCKE, Franck. Modelling assisted phytoremediation of soils contaminated with heavy

metals—Main opportunities, limitations, decision making and future prospects. Chemosphere, 2020, vol. 249, p. 126196.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520303891>

JIMÉNEZ, María Soledad Erazo. Rigor científico en las prácticas de investigación cualitativa. Ciencia, docencia y tecnología, 2011, vol. 22, no 42, p. 107-136.

Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3715399>

KAMALI, Mohammadreza, et al. Scientometric Analysis and Scientific Trends on Biochar Application as Soil Amendment. Chemical Engineering Journal, 2020, p. 125128.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894720311207>

KHALID, Sana, et al. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. Journal of Geochemical Exploration, 2017, vol. 182, p. 247-268.

Disponible

en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375674216303818>

KAVAMURA, Vanessa Nessner; ESPOSITO, Elisa. Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals. Biotechnology advances, 2010, vol. 28, no 1, p. 61-69.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975009001530>

KAEWTUBTIM, Pungtip, et al. Phytomanagement of radionuclides and heavy metals in mangrove sediments of Pattani Bay, Thailand using Avicennia marina and Pluchea indica. Marine pollution bulletin, 2018, vol. 127, p. 320-333.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X173104827>

LAGHLIMI, Meriem, et al. Phytoremediation mechanisms of heavy metal contaminated soils: a review. Open journal of Ecology, 2015, vol. 5, no 08, p. 375.

Disponible en:

https://www.scirp.org/html/4-1380401_58832.htm

LEGUIZAMO, Mayerly Alexandra Oyuela; GÓMEZ, Wilmar Darío Fernández; SARMIENTO, Martha Cecilia Gutiérrez. Native herbaceous plant species with potential use in phytoremediation of heavy metals, spotlight on wetlands—a review. Chemosphere, 2017, vol. 168, p. 1230-1247.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004565351631459X>

LIU, Lianwen, et al. Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability. Vol. 633, 2018

Disponible

en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718309215>

LIU, Rui, et al. Rhizosphere effects of PAH-contaminated soil phytoremediation using a special plant named Fire Phoenix. Science of the Total Environment, 2014, vol. 473, p. 350-358.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969713014812>

LIU, Zhongchuang, et al. A review on control factors of pyrolysis technology for plants containing heavy metals. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2020, vol. 191, p. 110181.

Disponible

en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651320300208>

LOMBI, E., et al. Phytoremediation of heavy metal-contaminated soils. Journal of environmental quality, 2001, vol. 30, no 6, p. 1919-1926

Disponible en

<https://bnrc.springeropen.com/articles/10.1186/s42269-019-0214-7>

LUO, Zhi-Bin, et al. Heavy metal accumulation and signal transduction in herbaceous and woody plants: paving the way for enhancing phytoremediation efficiency. *Biotechnology Advances*, 2016, vol. 34, no 6, p. 1131-1148.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975016300908>

MAHAR, Amanullah, et al. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2016, vol. 126, p. 111-121.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651315302116>

MORENO, Begoña, et al. Revisiones Sistemáticas: definición y nociones básicas. *Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral*, 2018, vol. 11, no 3, p. 184-186.

Disponible en

<https://scielo.conicyt.cl/pdf/piro/v11n3/0719-0107-piro-11-03-184.pdf>

MUNARRIZ, Begoña. Técnicas y métodos en investigación cualitativa. 1992.

Disponible en <http://hdl.handle.net/2183/8533>

NEZAT, Carmen A.; HATCH, Shyla A.; UECKER, Ted. Heavy metal content in urban residential and park soils: A case study in Spokane, Washington, USA. *Applied Geochemistry*, 2017, vol. 78, p. 186-193.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0883292716306023>

OLIVEIRA, Fernanda R., et al. Environmental application of biochar: Current status and perspectives. *Bioresource technology*, 2017, vol. 246, p. 110-122.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417314360>

PANDEY, Vimal Chandra; BAJPAI, Omesh. Phytoremediation: from theory toward practice. En Phytomanagement of Polluted Sites. Elsevier, 2019. p. 1-49.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128139127000016>

PATHAK, Sumya; AGARWAL, Aditya Vikram; PANDEY, Vimal Chandra. Phytoremediation—a holistic approach for remediation of heavy metals and metalloids. En Bioremediation of Pollutants. Elsevier, 2020. p. 3-16.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128190258000016>

PAZ, María. Investigación cualitativa en educación. Fundamentos y tradiciones. Editorial Mcgraw Hill. México DF, 2003.

Disponible en

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-97922005000300007

QUECEDO LECANDA, Rosario, et al. Introducción a la metodología de investigación cualitativa. Revista de psicodidáctica, 2002.

Disponible en

<https://www.ehu.eus/ojs/index.php/psicodidactica/article/view/142>

QUILLIAM, Richard S., et al. Life in the 'charosphere'—Does biochar in agricultural soil provide a significant habitat for microorganisms?. Soil Biology and Biochemistry, 2013, vol. 65, p. 287-293.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071713002149>

RAJKOVICH, Shelby, et al. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. Biology and Fertility of Soils, 2012, vol. 48, no 3, p. 271-284.

Disponible en

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-011-0624-7>

RAMAMURTHY, Armuthur S.; MEMARIAN, Ramin. Phytoremediation of mixed soil contaminants. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2012, vol. 223, no 2, p. 511-518.

Disponible en

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-011-0878-6>

RAZZAGHI, Fatemeh; OBOUR, Peter Bilson; ARTHUR, Emmanuel. Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta-analysis. *Geoderma*, 2020, vol. 361, p. 114055.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706119322153>

RODRIGUEZ, José Alexander, et al. Influence of pyrolysis temperature and feedstock on the properties of biochars produced from agricultural and industrial wastes. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2020, p. 104839.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165237020301571>

SALGADO LÉVANO, Ana Cecilia. Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. *Liberabit*, 2007, vol. 13, no 13, p. 71-78.

Disponible en

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S172948272007000100009&script=sci_arttext&tlng=en

SARWAR, Nadeem, et al. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. Vol. 171, 2017

Disponible

en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653516318574>

SHARMA, Parul; PANDEY, Sonali. Status of phytoremediation in world scenario. International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation, 2014, vol. 2, no 4, p. 178-191.

Disponible en

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.944.2380&rep=rep1&type=pdf>

SINGH, Rajani, et al. Adaption mechanisms in plants under heavy metal stress conditions during phytoremediation. En Phytomanagement of Polluted Sites. Elsevier, 2019. p. 329-360.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128139127000132>

RAZZAGHI, Fatemeh; OBOUR, Peter Bilson; ARTHUR, Emmanuel. Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta-analysis. Geoderma, 2019, p. 114055.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706119322153>

VALENCIA, María Mercedes Arias; MORA, Clara Victoria Giraldo. El rigor científico en la investigación cualitativa. Investigación y educación en enfermería, 2011, vol. 29, no 3, p. 500-514.

Disponible en

<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/5258>

VIJAYALAKSHMI, V., et al. Bio-degradation of Bisphenol A by Pseudomonas aeruginosa PAb1 isolated from effluent of thermal paper industry: Kinetic modeling and process optimization. Journal of radiation research and applied sciences, 2018, vol. 11, no 1, p. 56-65.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687850717301115>

WAN, Xiaoming; LEI, Mei; CHEN, Tongbin. Cost–benefit calculation of phytoremediation technology for heavy-metal-contaminated soil. Science of the Total Environment, 2016, vol. 563, p. 796-802.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969715312377>

WANG, Jianlong, WANG, Shizong. Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. Vol. 227, 2019.

Disponible

en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619313733>

WANG, Lei, et al. An assessment of emergy, energy, and cost-benefits of grain production over 6 years following a biochar amendment in a rice paddy from China. Environmental Science and Pollution Research, 2018, vol. 25, no 10, p. 9683-9696.

Disponible en

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-1245-6>

WANG, Li, et al. A review on in situ phytoremediation of mine tailings. Chemosphere, 2017, vol. 184, p. 594-600.

Disponible

en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565351730927X>

WANG, Mingming, et al. Review on utilization of biochar for metal-contaminated soil and sediment remediation. J. Environ.Sci, 2017.

Disponible

en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074217300864>

WANG, Yangyang, et al. Stabilization of heavy metal-contaminated soils by biochar: challenges and recommendations. Science of the Total Environment, 2020, vol. 729, p. 139060.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720325778>

XIE, J. Q., et al. Phytoremediation of soil co-contaminated with arsenic, lead, zinc and copper using *Pteris vittata* L.: a field study. *Acta Sci Circumst*, 2010, vol. 30, p. 165-171.

YANG, Xing, et al. Effect of biochar on the extractability of heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and enzyme activity in soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, vol. 23, no 2, p. 974-984.

Disponible en

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-4233-0>

ZHU, Xiaomin, et al. Effects and mechanisms of biochar-microbe interactions in soil improvement and pollution remediation: a review. *Environmental Pollution*, 2017, vol. 227, p. 98-115.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026974911632228X>

ANEXO

	FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO
---	---

TITULO:

PÁGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACION <input type="text"/>	LUGAR DE PUBLICACION <input type="text"/>
--------------------	--	--

TIPO DE INVESTIGACION:	AUTOR(ES):
------------------------	------------

CODIGO :	
PALABRAS CLAVES :	
TIPO DE TECNICA DE REMEDIACION:	
COSTOS PARA LA APLICACIÓN DEL BIOCHAR O FITORREMEIDACIÓN :	
TIPOS DE METALES ABSORBIDOS POR LA APLICACIÓN DEL BIOCHAR O FITORREMEDIACIÓN:	
CONDICIONES DEL TERRENO A REMEDIAR:	
RESULTADOS :	
CONCLUSIONES:	



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, BRAVO CAMAC DANIEL, OLIVERA KALAFATOVICH JUANA GUIANELLA estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LAS TÉCNICAS BIOLÓGICAS IN SITU PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR METALES PESADOS : BIOCHAR Y FITORREMEDIACIÓN", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
BRAVO CAMAC DANIEL DNI: 70850306 ORCID 0000000241927561	Firmado digitalmente por: DBRAVOC9 el 26-12-2020 16:54:17
OLIVERA KALAFATOVICH JUANA GUIANELLA DNI: 46761051 ORCID 0000-0002-2177-7199	Firmado digitalmente por: JOLIVERAK el 26-12-2020 17:32:32

Código documento Trilce: INV - 0161657

